

Az energetikai váltás biztosíthatja számunkra a fenntartható fejlődést?

Elektromos gépjármű meghajtások energetikai értékelése a fenntarthatóság szempontjából

A gazdasági fejlődés egyik „motorja” a mobilitás, amelynek egy része az egyéni közúti személyszállítás, és várhatóan még hosszú ideig az is marad. A villamos meghajtású gépkocsik elterjedése jelentős előnyöket kínál a globális klímaváltozás szempontjából fontos CO₂-kibocsátás és a városi légszennyezettség csökkentésére. Ezért a közúti gépjárművek jövőbeni erőforrása (meghajtó motorja, energiahordozótárolása) megválasztásának kérdése rendkívül aktuális. Nevezetesen, hogy fenntartható fejlődést jelent-e, a hagyományos, kőolajból származó tüzelőanyagokkal hajtott gépkocsimotorok villamos meghajtással történő, tervezett felváltása? Ugyanis a gyártásukhoz szükséges nyersanyagok jövőbeli elérhetősége, ára, különös tekintettel az energia tárolásához használt akkumulátorok esetében a gépkocsimeghajtás „villamosításának” globális és tömegszerű elterjedése komoly ellátási problémákat jelenthet. Az alapvető nyersanyagok például a ritka fémek hiánya hasonló áremelkedéseket eredményezhet.

DOI 10.24228/KTSZ.2018.4.2

Domanovszky Henrik

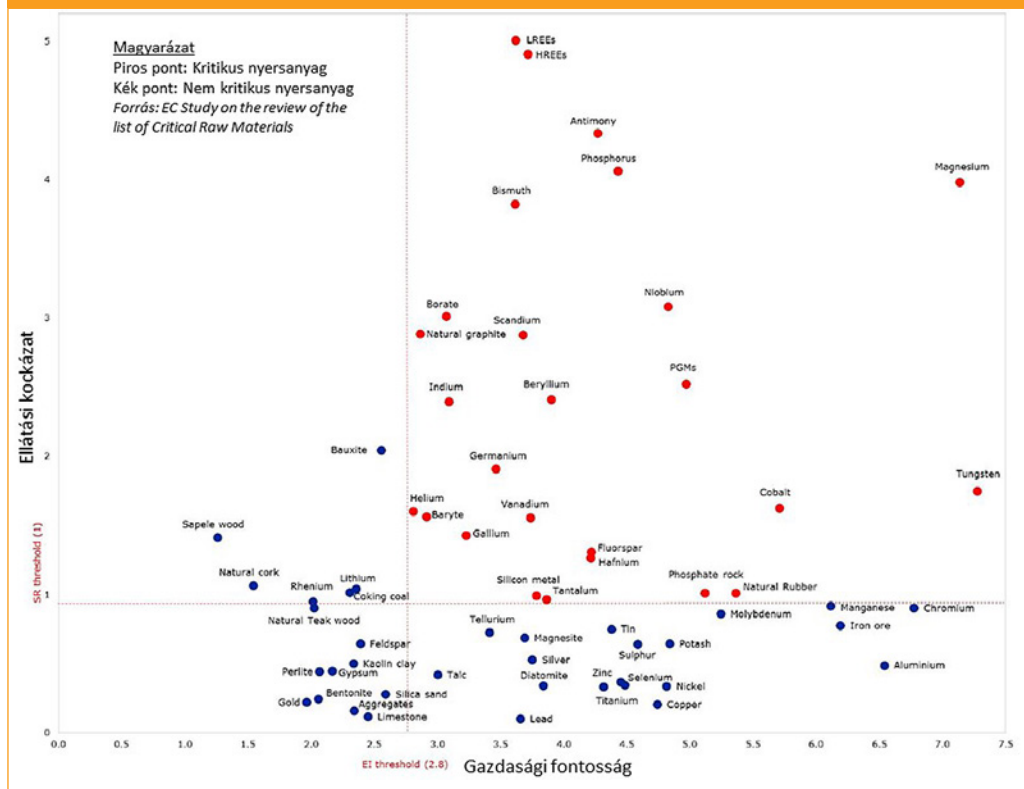
e-mail: domanovszky@gmail.com

1. BEVEZETÉS

A 2017-ben publikált [1] 797 oldalas amerikai vizsgálati anyag 23 olyan kritikus, nem energiahordozó természeti kincset azonosított, amelyek a mai és a fejlődő iparágak számára alapvetően fontosak, és az Egyesült Államok (valamint ezzel együtt nagyon sok fejlett or-

szág, így az EU tagállamok) számára az importfüggősége komoly ipari hátrányt eredményezhet. Nem meglepő az sem, hogy néhány évvel ezelőtt ezen alapanyagok többségéről még nem vagy csak alig vettünk tudomást. Az Európai Bizottság szintén rendszeresen figyelemmel kíséri az alapanyagok elérhetőségét. 2011-ben 41, 2014-ben már 54, míg 2017-ben

1. ábra: Ellátási kockázatot rejtő elemek az Európai Unió gazdasága számára, 2017 [14]



78 elemet vizsgáltak meg, ebből 2017-ben már 26-ra (2014-hez képest kilenc újjal, háromtól többle) nőtt azok száma, amelyek hozzáférhetőségét kritikus kategóriába sorolták [14].

Ha áttekintjük a kritikus elérhetőségű alapanyagokat, feltűnően sok olyat találunk közöttük, amelyeknek kulcsszerepet szánunk az energiaváltás, főként a közlekedés nagyarányú villamosításának bekövetkezésében. Sőt, ezen anyagok éppen attól válnak stratégiaileg kritikusokká, hogy a villamos hajtás és a villamosenergia-tároló kapacitás ipari előállításában nagyságrendi bővülés állt be, és a jelenlegi szabályozók és ösztönzők rendszerében további, akár két nagyságrendi bővüléssel nézünk szembe. Az energiaváltás folyamatainak fenn tarthatóságát azonban ezen kritikus alapanyagok hozzáférhetősége, ára, alapvetően befolyásolni képes. Nagy a veszélye annak, hogy

a globális ipari termelés, az autópár jelenlegi kibocsátásának térképe épp ennek a folyamatnak köszönhetően drasztikusan és hirtelen fog megváltozni. Az Európai Unió és az egyébként természeti kincsekben bővelkedő Egyesült Államok is a szükséges természeti kincsek stratégiai biztosítása terén Kínával szemben mára már jól látható lépéshátrányba került. 2014-ben a világ 40 különböző ásványi nyersanyag termelésének Kína adta több mint ötödét. Ezek között találhatók ritka földfémek, például ⁷⁴Volfrámból 82%, ⁵¹Antimonból 76%, ³²Germanium 73%, ⁸⁰Higany 68%, grafit 66%, folyópát (v. fluorit) 59% és a ⁸³Bizmut 56% származik kínai kitermelésből, állítja a U.S Geological Survey a 2016-os felmérésében.

Az Európai Unió is hasonló eredményre jutott vizsgálati jelentésében [2], amelyet az (1.) grafikonon ábrázoltak.

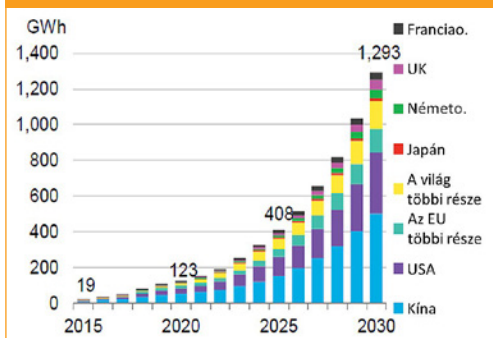
2. LENDÜLETES ELEKTRIFIKÁCIÓS TERVEK

Az elektromos és hibrid járművek értékesítésének növekedésével a lítiumos akkumulátor termelés iránti igény a ma rendelkezésre álló kapacitás sokszorosát mutatja [3]. 2017 elején a világ 103 GWh gyártókapacitással rendelkezett, amelynek 2030-ra 12,5-szörösre kell emelkedni. A feladatban rejlő nehézséget néhány számmal érdemes érzékeltetni. Elon Musk 2014-ben építésnek indult Gigafactory-ja 2018 elején kezdi felvenni a dolgozókat a nevadai puszta, azzal a tervvel, hogy 2020-ig fogják folytatni a bővítést és eléri a tízezer dolgozót. A 2018-ban felálló 35 GWh-nyi termelési kapacitás következképp 2019-től várható, hogy ekkora kibocsátással fog működni. Vagyis további 33 ilyen kapacitású gyár felépítését kell a világon megvalósítani a következő 12 év alatt, miközben 5 év alatt készül el és pörög fel a Tesla gyárának első fázisa. A számokat a másik oldalról nézve, az 5 milliárd dollárba beharangozott Tesla (részvényeseinek) befektetése, amennyire hinni lehet a kiadott információknak eddig 2 milliárdot emésztett fel. A Tesla modellek nagyméretű akkumulátor csomagjaival számolva igaz a mondas, miszerint 500 000 autóból kerül évente az ott gyártott akkumulátorból. Ha pedig a termék életciklusát 5 évre vesszük a gyors fejlődésnek köszönhetően szükségessé váló modellváltás miatt, akkor csak a gyártóegység költségét 800 USD-ra számolhatjuk autónként.

A keresletugrás pedig nem csak a gyártókapacitás, hanem a nyersanyagok iránti igényt is hasonlóan érinti.

A prognózisok, szcenáriók közötti eltérés, a közúti járművek eltérő mértékű akkumulátor üzeművé alakítása között, látványos. A Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) [10] 2030-ra vonatkozó összefoglaló prognózisa mintegy négyeszeres szórást mutat a járműállományra vonatkozóan. A leginkább ambiciózus B2DS (2°C-on túli) forgatókönyv 2030-ra 25% villamos meghajtású autó piaci részaránnyal számol világszerte, míg az elektrifikációt támogató országok körében 30%-kal számol. A személyautók terén ez a 30%-os globális

2. ábra: Járműhajtás céljára szolgáló lítium-ion akkumulátorok iránti gyártókapacitás igény előrejelzése 2015-2030 között, Bloomberg New Energy Finance [3] felmérése szerint



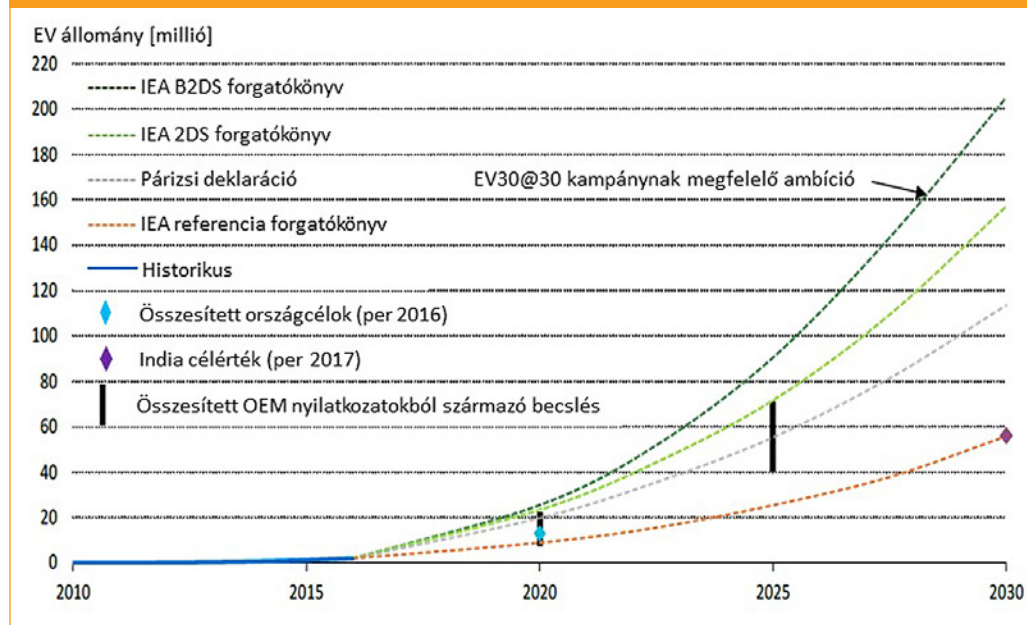
részarányt, egyes piacokon pedig akár 40%-ot elérő értékesítést is eredményezhet. A 2DS forgatókönyv villamos meghajtású autók piaci részarányát 18%-ra teszi 2030-ban. Az RTS (referencia technológia) forgatókönyv szerint 2030-ban 55 millió jármű fog közlekedni az utakon, ez 5%-ot felülmúló piaci részarányt feltételez. A járműgyártás globális termelés-növekedése mára átlépte az évi 90 millió darabot, és előrevetíthető, hogy 2030-ra 100-110 millió db lesz, a növekvő populációs és magasabb GDP eredményezte mobilitási igények kielégítése céljából. Az eltérő forgatókönyvek alapul vétele esetén 2030-ra legalább évi 6 millió, a B2DS forgatókönyv pedig 30-33 millió villanyjármű legyártását feltételezi. A fenti 2030-ra jelzett 1295 GWh akkumulátorgyártó kapacitás mintegy 45 millió BEV akkumulátor egységet fed.

Az IEA riport [10] gyengesége, hogy a hidrogén tüzelőanyagcellás hibrid járművekről lényegében nem vesz tudomást, holott a következő technológiai mátrixban mindenképpen számolni szükséges a hidrogénhajtással is.

3. A TERVEK, A TECHNOLÓGIA FEJLŐDÉSE ÉS AZ ERŐFORRÁSOK KONFRONTÁCIÓJA

Az Európai Bizottság 2017-ben kiadott tiszta jármű csomagjának is egyik fő pillére a közúti közlekedés elektrifikációja (beleértve a

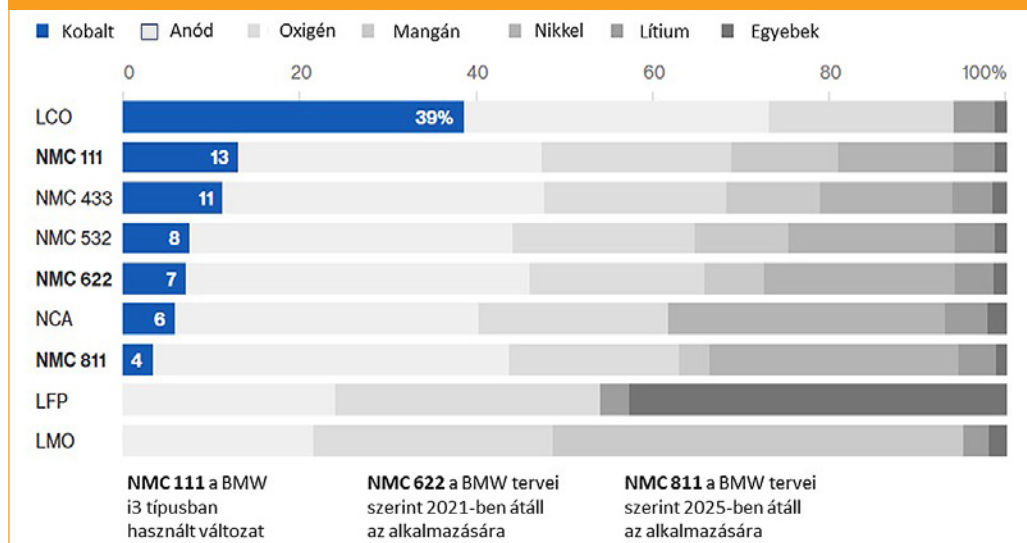
3. ábra: A Nemzetközi Energia Ügynökség által készített globális BEV járműállomány alakulásra vonatkozó forgatókönyv változatok. A párizsi deklaráción túl, csaknem kétszeres elterjedési jövőképek is napvilágot láttak EV30 kampányának megfelelő ambíció formájában.



4. ábra: Az egyik legemblematikusabb kritikus eleme a villanyautózásnak a kobalt. Jellemző nagyarányú felhasználása a lítiumos akkumulátorok katódötvözeteként, azonban a villanymotorok állandó mágnesének lehetséges ritka földfémeket nélkülöző ötvözeteként anyaga is, amely nagyrészt a problematikus Kongóból származik. Kiszámíthatóságát a pár hónap alatt közel háromszoros ára mutatja.



5. ábra: Néhány lítium-ion akkumulátor tömegösszetételét mutatja a Bloomberg New Energy Finance [3] grafikonja. Az anód anyagára kevés változat mutatkozik, jellemzően a grafit tölti be ezt a szerepet.



hidrogént is), a 12 millió polgárt közvetlenül foglalkoztató európai autóiipari versenyképesség megtartásának céljával. Ennek a törekvésnek a teljesítéséhez azonban – már csak a nyersanyagok elérhetősége miatt is – nagyon vékony jégen át vezet az út. Mint tudjuk, az ásványkincsek termelésének és a keresletének mindenkori viszonyát a jegyzések mutatják meg. Egy jellemzően intő példa a ²⁷ Kobalt, amely a jelenlegi lítiumos akkumulátorok katódjának egyik meghatározó ötvöző, átmeneti fém; a korábbi évek 30 000 USD/t átlagos jegyzés-árszintje 2018 elejére 80 000 USD fölé emelkedett.

Az eltérő lítium akkumulátor kémiai eljárások, gyártástechnológiák természetesen eltérő mennyiségben igényelnek kobaltot, amint ezt a Bloomberg grafikonja szemlélteti.

A világ számos kutató-fejlesztő központjában mind az anyagok felhasználásának csökkentése, mind pedig új összetevők kifejlesztése zajlik, ami ezidáig hatékonyan eredményezte az akkumulátorok fajlagos kapacitásának emelkedését és előállítási költségének csökkenését. 2011-ben a 85 Wh/kg-ról 2017-re 125 Wh/kg-

ra emelkedett az átlagos lítiumos akkumulátorok specifikus energiasűrűsége és eközben az árak is közel felére estek.

Az evolúciós görbe ellaposodása e két területen azonban alappal feltételezhető. Műszaki alapú, mélyreható jövőkutató elemzések, amilyen az Egyesült Államok Energiaügyekért felelős Minisztériumának megbízásából 2015-ben készült riport [11] is, akárcsak egy évtizedre előre sem tekintenek. 2022-re tett, inkább fejlesztési célnak meghatározott paraméterek alapján a 2012-es 100 Wh/kg energiasűrűséget 250 Wh/kg-os szinten, a 600 USD/kWh előállítási költséget pedig 125 USD/kWh-ra várják. Félidőben, az energiasűrűsége vonatkozó fejlődés intenzitása lemaradást mutat, a 2017-ben megjelent új modellek akkumulátorainak energiasűrűsége 103 és 152 Wh/kg között mozgott, az átlagértéket pedig 123 Wh/kg értékben definiálhatjuk [12]. A csökkenő költségtrendre vonatkozó modellek [13] kilátásaiban az alapanyagköltség csökkenése 25 százalékot meghaladó mértéket képvisel. Ehhez egyik összetevőként a komponensek elvárt felhasználási mennyiségének csökkenése, mint a fejlesztések fő eredménye vezet. Azt

azonban hozzá kell tenni, hogy az akkumulátor gyártókapacitások beruházási döntéseinek pillanatában jelentős mértékben és több évre determinálódik a gyártásra kerülő termék, amely a kutatás-fejlesztés eredményeit nem képes folyamatosan és azonnal követni. A termék életciklusának rövidítése azonban rossz esetben a gyártási kapacitás életciklusának rövidülését is eredményezi, ami a termékekre vetített fajlagos CAPEX drasztikus emelkedését vonja maga után.

A költségtrendek másik összetevője azonban az érc termékek jegyzésár változása lehet, amelyre műszaki modellt képezni nehezen lehet. Ellátásbiztonság-stratégiai szemmel tekinteni a kulcs alapanyagokra azonban rendkívül fontos. A kritikus elemek azonosítása és az energiastratégiával való összevetése szükségszerűvé vált. Ha áttekintjük, hogy mely elemek és miért kritikusak a közlekedés és általánosságban az energiaváltás fenntarthatósága szempontjából, az alábbi megállapításokat tehetjük.

A költségtrendek javulásának ellaposodására a tüzelőanyagcella (FC) gyártásról készült 2017-es riport [19] már pontos elemzést nyújt. Az elindított amerikai kutató projekt a FC cella gyártási költségének további mérséklését célozza. Az erősen kihegyezett DOE célérték 2020-ban 40 USD/kW, a 2016-os kiinduló 53 USD/kW-ról. A teljes járműbe építendő tüzelőanyagcella rendszer költsége egy évtizeddel ezelőtt még 3000 és 1500 USD/kW között volt, amihez képest a mostani szint (Toyota Mirai rendszerköltségét 233 USD/kW-ra számolták a tanulmány készítői, amelyből 73% a cellacsomag) rendkívül alacsony, de további eredmények 500 000 darab/év termelés (Toyota Mirai tervezési darabszám 1000/év!) esetén is csak kis mértékben érhetőek el, alapul véve egy 80 kW-os csomagot. Mindent elemezve, a membrán vékonyítástól a gyártósor kihasználásán keresztül az alacsonyabb fajlagos platina felhasználáson és a nagyobb energiasűrűségig, ráadásul nem számítva az időközben esetlegesen bekövetkező alapanyagok áremelkedését, 42,64 USD/kW cellaköltséget látnak elérhetőnek 2020-ra és 2025-re még további 15 százalékos fajlagos költségfelfaragást. Ez azonban már rendkívül sok bizonytalanságot rejt mind a

darabszám, mind pedig az alapanyagköltség (elsősorban platina, amely a 2008-as gazdasági válság előtt 80 400 USD/kg napi csúcson, utána 2009-ben 27 600 USD/kg napi mélypontra fordult, ennek az évtizednek átlagát pedig 53 000 USD/kg szinten lehet meghúzni) és az egyre magasabb beruházási költségek terén (2013-ban 5 millió USD membrán gyártósor költséggel, 2016-ban már 20 millió USD költséggel számoltak).

3.1. Antimon

6. ábra: Antimon fémfém.
Kép forrása: Tradium



A modern ipar fontos ötvözője, szívósság, keménységfokozás és korrózióállóság növelő, alkalmazása széles körű az ólomsavas akkumulátorokban, mint az ólom 4-6%-os ötvözője. A globális antimon felhasználás 2/3-át adják a hagyományos akkumulátorok.

Az elem az Európai listán az egyik legrizikósabb elemként szerepel, az Egyesült Államok az antimon importjának 67 százalékát fedezte Kínából, ahol adminisztratív módon szorítják vissza a termelés volumenét, aminek eredményeképp a korábbi 400 feletti kitermelőből 14-18 kvalifikált szállító maradt fenn 2011 végére (Chegwidden és Bedder, 2012). Az USA-ban található készletek jellemzően kisméretűek és gazdaságosan nem kitermelhetők. A világ több mint száz különféle ásványában fellelhető antimon elem kitermelhető készletét 1,3 millió tonnában határozták meg

(Gubermann, 2014), habár a számokban jelentős mértékű ellentmondások látszanak (Laznicka, 1999 mintegy ötször ekkora készletet jelentett). Az éves termelés az évtized közepén 159 ezer tonna (Gubermann, 2015), ami arra enged következtetni, hogy hosszú távon jelentős termelésbővülés nem várható, ami elsősorban a stacioner akkumulátorkapacitások kiépítésére vonatkozó terveket nehezíti.

3.2. Természetes grafit

7. ábra: Sri Lankáról származó természetes grafit. Kép forrása: Caesars Report



A grafit közismerten nem más, mint szénatomokból álló hexagonális gyűrű lemezekből (grafének) alakult szabályos kristályszerkezet. Bár a szénatom a naprendszer negyedik leggyakoribb eleme, önmagában grafitként csak egy nagyon kis része a földkéregben található karbon készleteknek. Az alkalmazhatóságához mindenekelőtt nagy tisztaságra van szükség. A kereskedelmi kategorizálása szerint az „amorf grafit” por a legkevésbé igényes, legalább 75%-ban grafitkristályokat tartalmazó érc. Több mint egy millió tonna készletet jegyeznek belőle. A „pehely-grafit” fejlett grafit kristályszerkezeteket tartalmazó lemezekék, 40 mikrométer és jellemzően 1 centiméter közötti mérettel találhatók a széntartalmú üledékekben. Az ilyen nagyobb tisztaságú, legalább 8 százalékból grafitkristályt tartalmazó, kereskedelmi célra számba vehető készletet megközelítőleg 200 ezer tonnára becsülik. A „tömb vagy leveles” néven kategorizált grafit kristályos metamorf kőzetek repedéseiben fordul elő, akár 3 méteres átmérővel, bányászata

60-95 százalék közötti arányban eredményez tiszta grafitkristályt. Egyedüli lelőhelyként Sri Lanka 30-650 m mélységű bányái ismertek, készlete azonban valószínűleg nem haladja meg a 100 ezer tonnát. A kitermelés és szortírozás kézzel történik, amely a 90 százalékot meghaladó grafittartalmat biztosít.

A kitermelt grafit árázása természetesen a fenti kategorizálásnak felel meg, tőzsdei ásványkincs jegyzés nincs, termelő és felhasználó közötti szerződések alapján zajlik a kereskedelem. Az [1] kutatás évtized elejére vonatkozó áradatai a 80-85% grafit tartalmú amorf grafitra 600-800 USD/t, a 90%-os pehely grafitra 1150-2000 USD/t és a tömb vagy leveles, 99 százalék grafitkristályt szállító Sri Lankáról származóra 1700-2050 USD/t árszintet jelöl.

A grafit ipari felhasználásának jelentős részét szintetikus úton létrehozott 99,9 százalékos grafitkristály biztosítja. Ennek azonban az ára 7000-20 000 USD/t közé esett a vizsgált időszakban. A természetes grafit ellátást az Egyesült Államok és az Európai Unió is kritikusan veszélyeztetettnek ítélte, utóbbi annak dacára, hogy léteznek európai bányászati tevékenységek is. Ezzel szemben az Egyesült Államok területén megtalálható készleteknek a kitermelése nem történik meg, jellemzően azok gazdaságtalansága miatt. Emellett megjegyzik azt is, hogy egy-egy bányának a termelésbe állításához körülbelül 10 évre van szükség.

A világ termelésének kétharmadát adja Kína (639 kt, 2006-2010 átlaga), mintegy 15 százalékát India és kevesebb, mint 10 százalékát fedezi Brazília (Olson, 2011). A meghatározó arányú kínai termelés miatt az árakat évtizedek óta diktálják, és Kínának lehetősége van a belföldi ipari felhasználással szemben az export árak hátrányos beállítására, ezáltal a kínai acélipari vagy éppen az akkumulátor-gyártó ipar termelésének előnyös helyzetbe hozatalára.

Az ipari grafitfelhasználás zömét tradicionálisan a metallurgia adja, azonban a magas elektromos vezetőképesség, a termikus stabilitás és a jó kenőképesség új iparágak növekvő felhasználását eredményezik. Ezek között a tüzelőanyag-cella, a nagy kapacitású újra-

tölthető akkumulátorok és a speciális könnyű ötvözetek a grafit felhasználást fokozzák. A hibrid és a tisztán akkumulátoros hajtáshoz alkalmas energiatárolók anódjának ma szinte csak a grafit felel meg [6, 7]. A lítium akkumulátorok összetételének tömeg szerint mintegy 15 százalékát a grafit teszi ki [8], azaz egy átlagos BEV akkuméretnak 280 kg-ot véve, 42 kg grafit tartalmat számolhatunk. Évi 10 millió BEV gyártását számolva ez 420 kt felhasználását jelenti csak erre a célra, amely a jelenlegi éves bányászati termelés megközelítőleg felét jelenti. Azonban az IEA által felvázolt B2DS forgatókönyvnek köszönhetően már 2030-ban csak az akkumulátorok céljaira annyi grafitot használhatunk fel, amely meghaladja a jelenlegi teljes bányászati kibocsátást. Márpedig ennek esetén az átvételi árak bizonyosan többszöröződnek, jelentősen közelítve azokat a nem minden esetben helyettesítő szintetikus grafit áraihoz.

3.3. Kobalt

8. ábra: 3 grammos kobalt darab.
Kép forrása: images-of-element.com



Az ezüstös szürke fém számos területen kulcsfontosságú a modern technológia számára. Ötvöztetésével a fémek kopásállósága, keménysége növelhető, mágnesező képessége biztosítható. A kobalt fő felhasználási területe – 2011-ben 30% – az újratölthető akkumu-

látorok katód anyagának ötvözője a lítiumos, a nikkkel-metál-hidrid és a nikkkel-kadmium akkumulátor típusoknál. Ezek az elektronikai fogyasztási cikkek, az akkumulátoros szerszámok, valamint a hibrid és akkumulátoros villanyautók területén játszanak fontos szerepet. Kobaltot ugyanakkor használnak a permennens és lágy mágnesezésű fémek ötvözőjeként, valamint turbinák, így repülőgép-hajtóművek és generátorok alkatrészeinek, hőállóságának stabilitásának fokozására is. Hasonló céllal található meg a kobalt a nagy igénybevételnek kitett vágó, maró szerszámprofilokban.

Az USA jelenlegi kobalt szükségleteinek 75-80 százalékát importból szerzi be, a fennmaradó 20-25 százalék újrahasznosításból ered. A bányászott kobalt 55 százalékát ma Kongó adja, amely a polgárháborús veszélyek, a sok tekintetben átláthatatlan viszonyok miatt nagy kockázatot jelent a szállítási képességre és ezzel együtt az átadási árra. A finomított kobalt jellemzően Kínából érkezik. Az 1000 tonnánál nagyobb készlettel rendelkező 214 bánya számbavétele alapján a föld kobalt készleteit mintegy 25,5-26 millió tonnára becsülik, azonban ezek közül a legjelentősebb előfordulások mélytengeriek. A műszaki, gazdasági és sokszor jogi akadályok miatt ma még kiaknázhatatlan, 6000 m alatt elhelyezkedő készletek mellett mindössze 17 százalék a szárazföldi, de ez zömében a kongói bányák ércvagyonra. Érdemes azt is figyelembe venni, hogy a mélytengeri mellett a kongói lelőhelyeknél 1 százalékos koncentrációt megközelítő a kobalttartalom, míg a további ásványlelőhelyek inkább csak 1 ezrelék körüli kobalthozamot adnak, ami a költségfordítást hátrányosan befolyásolja.

Ha számításba vesszük, hogy 2011-ben az éves 75 ezer tonna kobalt felhasználás 30 százalékát adták az akkumulátorok (bányászat 109 ezer t, finomítói kibocsátás mintegy 80 ezer t volt), 2030-ra pedig a villanyautók számára a gyártókapacitások növekedését lényegében nulláról 1295 GWh-ra várják, 300-500 ezer tonna közé esik az ahhoz szükséges éves finomított kobalt mennyiség, figyelembe véve az akkumulátor technológiai fejlődést is. A földkéreg ismert készleteit ekkora felhasználási igény néhány év alatt képes teljesen kimeríteni, feltéve azt a

valószínűtlen forgatókönyvet, hogy a bányászati kibocsátás képes többszörösére ugrani oly módon, hogy a kobalt ára megfizethető szinten maradjon. E nélkül csak a 6000 méternél mélyebb tengerfenéken található kőzetek kitermelése és felszínre hozása látszik megvalósíthatónak, azonban ez meglehetősen rögös út. Mindebből nehéz azt a következtetést levonni, hogy a kobalt ne jelentené évi néhány millió BEV gyártási szám felett a további terjedés akadályát.

3.4. Ritka földfémek

9-10. ábra: Fél grammnyi neodymium és egy 2 cm-es dysprosium.

Kép forrása: images-of-element.com

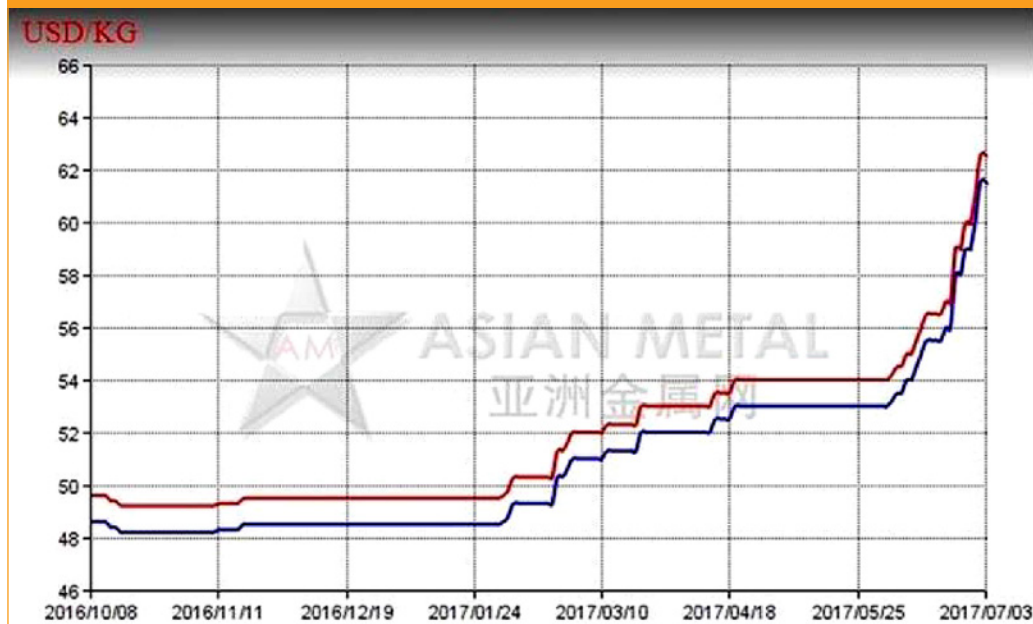


Az angol REE-ként rövidíti azt a 15 db elemet, amely az 57-től a 71-es atomszámgig terjed, és nem ritkán együttesen lantanidák gyűjtőnéven említik. Az REE csoport teljességéhez

hozzátartozik az ittrium felsorolása is, amely a 39-es atomszámmal nagyon hasonló tulajdonságokat képvisel. A ritka földfémek különleges tulajdonságaik miatt a hadászati, az energetikai és más ipari felhasználások számára keresettek. Jelenleg fő REE felhasználónak az üvegyártás számít, azonban a mágnesekben való alkalmazásuk rohamosan növekszik, tekintettel arra, hogy a neodímium-vas-bór (NdFeB néven ismertek) mágnesek a legerősebbek (mágneses energiasűrűségük meghaladhatja a 400 kJ/m^3 értéket), méret és súlycsökkentés érdekében ezt az anyagösszetételt alkalmazzák. Az NdFeB mágnesek kifejlesztéséhez a '80-as években az vezetett, hogy az addig legerősebb mágnes fajták, a samarium-kobalt (SmCo, mintegy 250 kJ/m^3 energiasűrűséggel) mágnesek kobalt beszerzési problémáit kezeljék. A hibrid és akkumulátoros járművek villanymotorjai mellett a repülőgépeknél is elterjedten alkalmazzák az NdFeB típusokat a magas mágneses energiasűrűségük miatt. A villanymotoroknál emellett kisebb mennyiségben még a ${}_{66}\text{dysprosium}$, ${}_{64}\text{gadolinium}$ és ${}_{59}\text{praseodímium}$ REE elemeket is előszeretettel használják. A dysprosium feladata, hogy a 120°C hőmérsékletig hőállóképes NdFeB mágneseket 200°C hőmérsékletre is alkalmassá tegye (az SmCo mágnesek akár 400°C -ig is ellenállóak) és a másik két REE komponens a permanens mágnesek demágneseződés-ellenálló képességének fokozását szolgálják.

A neodímium és a praseodímium részben helyettesíteni képesek egymást a NdFeB mágnesekben, azonban ettől még a 21 000 t, illetve 6300 t éves REE termelés (2014) csaknem kizárólag Kínából származik (és ennek a mennyiségnek mágnesekhez való felhasználása sorrendben 89%, illetve 73%) [15]. Ráadásul a két fém mintegy 4:1 arányban elosztva található az ércben, szétválasztásuk pedig meglehetősen nehéz. Kilátás e két anyag fajlagos felhasználási mennyiségének kismértékű csökkentésére van (kimutatások szerint 2010-2012-ben 31% neodímium és praseodímium tartalom a fejlesztéseknek köszönhetően 2030-ra 20%-ra csökkenhet). Az NdFeB mágnesek másik szükséges ötvözőjeként a dysprosium szerepel (9%-ig terjedő tömegszázalékkal), amelynek a mindössze 1400 t kitermelt mennyisége

11. ábra: PrNd ármozgása 2016. október és 2017. júliusa között [Asian Metal statisztika]



szintén Kínában keletkezik, helyettesíthető a terbiummal, abból azonban úgyszintén Kínában negyedannyit termelnek. Az ára is több mint duplája a dysprosiuménak, és összehasonlításként mintegy tízszerese a neodymium árának (Asian Metal, 2016). Külön problémát jelent az árak jelentős mértékű, esetenként akár tízszeres hullámozása [17]. A PrNd 2016. novemberi 330 RMB/kg jegyzése 2017 júliusára 480 RMB/kg szintre emelkedett a környezetvédelmi intézkedések miatti kisebb bányák bezárására való hivatkozással.

A villanymotorokban felhasználásra kerülő mágnes tömege nem elhanyagolható, egy mai fejlett 6 MW-os nagy szélgenerátorban mintegy 4 t mágnes található (~1,6 t REE), ez ugyan konstrukciós változtatásokkal szintén csökkenthető, azonban hatásfokvesztéssel kell számolni.

A járműhajtás céljára természetesen a tömeg és energiasűrűség talán minden más villanymotor alkalmazásnál fontosabb. Emiatt a legtöbb BEV és hibrid járművet az NdFeB állandó mágnesezésű PSM-ral (Permanent

Synchronous Motor) terveznek. Ritkábban jelenik meg aszinkronmotor (ASM) a tervezők döntéseként (Tesla ilyen) és még ritkábban a külső gerjesztésű szinkronmotor (EESM). Bár utóbbiak nem tartalmaznak REE-t, azonban alacsonyabb energiasűrűségük és az EESM esetében jóval összetettebb felépítésük miatt drágább rendszer a gyártási költség miatt kevésbé népszerű maradt. A JRC jelentése szerint [15] a PSM motorok REE felhasználása akár 29 százalékkal csökkenhet 2015-ről 2030-ra. A mai átlagos 1,5 kg/BEV beépített hajtómotor mágnes 24% neodymiumot, 6% praseodímiumot, továbbá akár 9% dysprosiumot tartalmaz. Utóbbira a 2,5%-os szintre való csökkentést is elképzelhetőnek tartják köszönhetően a fejlettebb metallurgiának és konstrukciós finomításoknak. A gyártásra kerülő BEV és hibrid járművek számával mindezek ellenére jelentős keresletnövekedésre lehet számolni. Az optimalizálás figyelembevételével is a B2DS forgatókönyv 2030-ra 8000 tonna Nd és 2000 t Pr keresletnövekedést eredményezhet a járművek oldaláról. Ehhez még hozzáteendő az is, hogy a [15] vizsgálati eredménye szerint 2015-tel szemben már 2020-ra mintegy 3000 t Nd

és 700 t Pr kereslet emelkedéssel és 800 t Dy többlettel is lehet számolni, ha a BEV és hibrid járművek mellett az elektromos kerékpárokat is figyelembe vesszük.

Jelenleg a NdFeB mágnesek legnagyobb felhasználói a piezo-elektronikus eszközök, az ipar és az autópárból, mintegy 25%-ot szelve a 2015-ben még 79 000 tonnás világtermelésből. A szélgenerátorok 10 százalékot, az elektromos kerékpárok 8 százalékot, a hibrid és BEV hajtómotorok pedig 7 százalékát jelentették a mágnesetortának. A B2DS forgatókönyv 2030-ra mintegy 50 000 t többletmágnesigényt támaszt a járműipar oldaláról. Különösen elgondolkodtató iparpolitikai szempontból az a tény, hogy ma a NdFeB mágnesek termelése több mint 85 százalékban Kínában található, mintegy 10 százalék Japánban, míg a maradék kevesebb, mint 5 százalék készül az USA és EU együttesében. Mit jelenthet ez a Kínán kívüli autópárból jövőjére vonatkozóan, ahol a félkapitalista alapokon működő ipar piaci szabályozóit egy, a nyugati modellektől eltérő politikai vezetés határozza meg?

A háztartási elektronikai cikkek újratölthető akkumulátorai mellett a villamos hajtású járművek, elsősorban a hibrideknél elterjedt a nikkkel-metal hidrid (elterjedten NMH, vagy NiMH) akkumulátorok használata, amelyek anódjait ⁵⁷Lantán bázisú ötvözetből készítik. Egy-egy hibrid autóban 10-15 kg lantán felhasználásával számolhatunk.

Bár nem mindegyik REE ritka elem, mint ahogyan azt a neve mutatja, a leggyakoribb ⁵⁸Cérium például a réznél vagy az ólomnál is nagyobb mennyiségben található a földkéregben. A kiszolgáltatottságot az REE-k esetében az eredményezi, hogy évtizedek óta Kína adja a világ termelésének túlnyomó részét, az elmúlt évtized átlagában 90 százalék feletti mennyiséget termelve. Ebben az évtizedben Kína kvóták, licenszek és adók formájában, adminisztratív módon korlátozni kezdte az REE kitermelését, azzal a céllal, hogy egyrészt őrizze a nemzeti készleteket a hazai igények fedezése érdekében, másrészt csökkentsen a bányászat kedvezőtlen természeti hatásait [1]. Ennek következtében növekedett az aktivitás a

Kínán kívüli lelőhelyek felkutatására. A földkéreg lelőhelyeinek REE készletét mintegy 130 millió tonnára becsülik, bár számos kitermelése ma még nem megoldott. Ezzel szemben az éves bányászati termelés „mindössze” 130-140 ezer tonna, ami látszólag hosszú távra elegendő készletet vetít előre. A hibrid és BEV járművek piacának előre becsült bővülése azonban a jelenlegi bányászati termelés legalább megduplázódását igényli a következő évtized közepére, szinte minden bemutatott REE esetén.

A kitermelés növelése viszonylag hosszú, akár évtizedes folyamat lehet. A kereslet hajtotta jegyzés ár különösen azon anyagoknál, amelyeknek termelt mennyisége alacsony és kevés helyről szerezhető be, könnyűszerrel akár tízszeresre is emelkedhet. Erre már az elmúlt években is látható volt példa.

3.5. Tellúr

12. ábra: 3,5 cm átmérőjű tellúr fémlemez.
Kép forrása: images-of-element.com



Kevésbé közlekedési felhasználású anyag, azonban a jelenlegi megújuló áramtermelő kapacitások bővítése szempontjából alapvető a napcella gyártás helyzete. A jelenlegi vékonyfilmes technológiák közül a kadmium-tellúr film terjed, különösen Kína és India fejlődő iparágaiban. Bár egyéb felhasználásai is vannak, mint a gumiiipar, az elektronika, az orvosi berendezések gyártása, de a világ fogyasztásának a 2/3-át

a fotovoltaikus és termoelektromos egységek gyártása adta (Anderson, 2015). Ezek az iparok azonban mind erős fejlődést mutattak az elmúlt években és a tellúr iránt jelentős keresletemelkedést idézhetnek elő a következő években.

A tellúr azonban a földkéregnek rendkívül ritka előfordulását anyaga, jellemzően melléktermékként kerül felszínre és nagyon kevés információ van a kitermelhető készletekről, amit összességében 24 000 tonnára becsülnek. A földkéregben mindössze két jelentősebb ér ismert, ahol elsődlegesen tellúr kitermelése folyik, egy Kínában és egy Svédországban (véltetően ez utóbbi miatt a tellúr az EU stratégiailag kiemelten kockázatos értékelési határa alatt szerepel kevésse). Ez a két lelőhely adja a világ 450-470 tonna finomítói kibocsátásához a mintegy 70 tonna meghatározó bányászati input részt.

4. A MÓDVÁLTÁS AZONNALI, KÖZVETLEN KÖRNYEZETI HATÁSAI

Az emberi tevékenység földi környezetet terhelő hatása elvitatathatatlan. A közlekedés által okozott externáliák, a lég-, zajszennyezés és más terhelési módok, gyakorta szerepelnek a középpontban. A vizsgálatok azonban eddig ritkán terjedtek ki a mobilitással együtt járó összes elemre.

Tekintettel arra, hogy a közlekedés egy energiaátalakítási folyamat, amely során az energiahordozó mozgási energiává alakul a jármű segítségével. Ez a folyamat ott kezdődik, ahol a járművet előállítjuk, és körülbelül ott végződik, hogy azt megsemmisítjük (újra hasznosítjuk). Az előállításához anyagra és energiára van szükség, amelyben az emberi munka is azonosítandó.

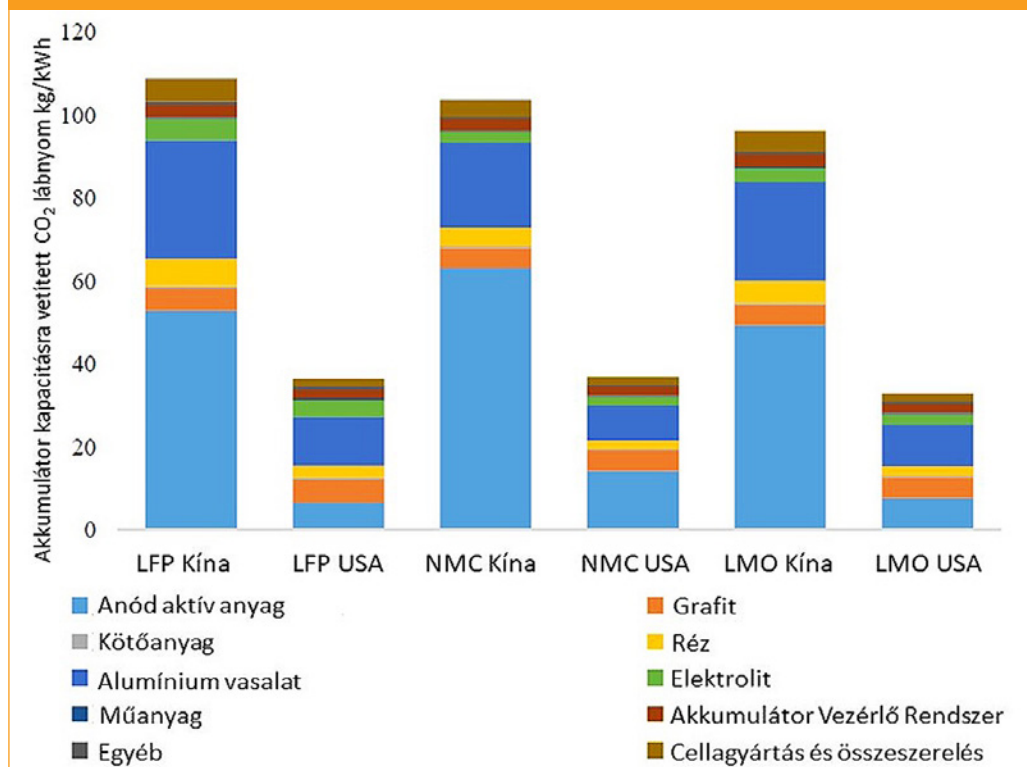
A jármű előállítása egyre inkább összetett természeti erőforrás igényes folyamat, amelyben a különleges nyersanyagok és gyártási módok elterjedése a technológiai fejlődés természetes velejárója. Azonban, mint az aranybányászatnál a ciánmérgezés sem megengedhető következménye a tevékenységnek, a járműgyártásnál is fontos a környezetterhelésre vonatkozó részletek figyelembevétele. Az elmúlt időszakban fokozottan előtérbe került a villamos haj-

táshoz szükséges akkumulátorok előállításának energiaigénye, valamint az ebből fakadó környezeti lábnyom kérdése.

Az akkumulátorok előállításának energia intenzitására vonatkozóan számos tudományos elemzés készült az elmúlt években, amelyek eredményeit az IVL Svéd Környezet Kutatóintézet csoportja 2017-es publikációjában mélyrehatóan tárgyalta [4]. A gyártás átlagos energia, jellemzően áram, ráfordítása 586 MJ/kWh. Ennek fedezése jelentős CO₂ intenzitás eltérést mutat attól függően, hogy egy akkumulátor a rossz szerkezetű kínai hálózatról, vagy egy kedvezőbb termelőhely árammixéből táplálkozik, ahogy ezt kínai kutatók is bemutatták [5]. Egy 28 kWh kapacitású BEV akkucsomagot alapul véve, három eltérő lítium technológiai változat 3061-2705 kg közötti szórású CO₂ ráfordítással készül. A svéd riport [4] részletezéséből az derül ki, hogy ennél határozottan magasabb, 150 és 200 kg/kWh közötti a valós termelési ráfordítás. Közérthetőbben, a 28 kWh akkumulátor csomag előállítása során ~4,9 t CO₂ keletkezik, ami 2085 liter benzin elégetésével egyezik. Egy hagyományos, azonos kategóriájú autó fogyasztását (5 l/100 km) alapul véve 42 000 km-t lehet megtenni ekkora kibocsátás eléréséhez.

Ezek az értékek azonban nem tartalmazzák az életciklus végi újrafeldolgozás ráfordítását, tekintettel arra, hogy lítium akkumulátorokra még széles körben alkalmazott technológia és ipari kapacitás nem áll rendelkezésre. Az Európai Unió 2000/53/EC irányelve a járművek életciklusának végéről rögzíti, hogy a járműgyártók felelőssége a járművek tömegének legalább 85%-os újra hasznosítása. A 2006/66/EC akkumulátorok irányelve kimondja, hogy az akkumulátort piaca helyezőnek feladata az akkumulátorok 95 százalékának begyűjtése és azok tömegének legalább 50 százalékos mértékű újrafelhasználása. A svéd vizsgálati jelentés [4] kiterjed a ma Európában működő használt akkumulátor feldolgozó kapacitásokra és bemutatja, hogy melyik anyagok részleges kinyerése történik meg. Az akkumulátorok minden kilogrammjának megsemmisítése jellemzően 2,5 kg CO₂ lábnyommal jár, a visszanyert alapanyagok a gyártásban való újra felhasználása pedig körülbelül 3,5 kg/kg CO₂ csökkenést

13. ábra: Három lítium bázisú akkumulátor gyártásával együtt járó CO₂ lábnyom ekvivalens a gyártási helyszín függvényében, a kínai kutatók elemzése szerint [5]. A svéd összehasonlító vizsgálat [4] mintegy 50 százalékkal nagyobb lábnyomot lát.



eredményez a lítium akkumulátorok tömegére nézve, ezzel legfeljebb 5 százalékkal javítva a teljes életciklus mérlegén.

Valamivel szélesebb körben ismert, hogy a globális felmelegedésre nézve a villamos autók használatának kedvező környezeti hatása, előnye csak azon elektromos hálózatok mentén valósul meg, ahol az árammix előállításához alacsony karbon intenzitású technológiákat alkalmaznak. E téren a világ bajnok Norvégia, árammixének jelentős részét vízerőművekkel, CO₂-mentesen, ráadásul nukleáris erőművek nélkül állítja elő.

Ellenpólusként szerepel Kína, ahol az erőteljes kormányzati törekvés a villamos gépjárművek terjedése érdekében egy rendkívül magas CO₂ intenzitású, szennyező, túlságosan nagy részben szénalapú áramhálózattal párosul. A kínai árammix karbon lábnyomának megfelelése

esetén lehet csak eljutni arra a szintre, hogy a villamos autó üvegházhatású gázkibocsátás terén felveszi a versenyt más fejlett technológiával, üzemenyaggal. Erre azonban a jelentős mértékű megújuló áramtermelő kapacitás telepítése, valamint a hőerőművek földgázra való átállása mellett is még hosszan kell várni, tekintettel arra, hogy az elkövetkezendő években még mindig intenzív fogyasztói kör bővülést és fogyasztásnövekedést kell kiszolgálni.

5. TECHNOLÓGIAI FEJLŐDÉS VS. KÖLTSÉGSPIRÁL

Ma gyakorta hangoztatott mondat, miszerint a villamos gépjárművek sokkal egyszerűbbek, kevesebb alkatrészből állnak, mint a belső égésű társaik és ebből kifolyólag hamar versenyfőlnybe kerülnek. A valóság azonban, hogy egy mai szemmel mindennapi kis 4 hengeres

Otto-motor gyártási költsége mintegy 500 USD ehhez persze még a mai emissziós elvárások teljesítéséhez katalizátort is kell számolni, kisebb motor esetén 300 USD körüli összeggel. Jószerivel a katalizátort leszámítva minden más ugyanúgy szükséges egy villanyautónál is. Ugyanazokat a biztonsági felszereléseket, karosszéria merevséget, futóművet kell beépíteni, nem beszélve az elektronikai arzenálról, amit ma egy autó nyújt. A villamos gépjármű nagyfeszültségű akkumulátorcsomagja és motorja az árazás, a versenyképesség, a széles körű elterjedés kulcsa (amennyiben a kiszolgáló infrastruktúrát maradéktalanul az igényekhez igazodóan adottan feltételezzük).

Hibrid járművekhez méretezett 50 kW teljesítményű villanymotor lehetőségeket hasonlított össze előadásában a Nemzetközi Réz Szövetség [18] bizonyítva, hogy az NdFeB PSM motorok kiváltására alkalmas, de annál 40 százalékkal nagyobb tömegű (+10-12 kg), alacsonyabb energiasűrűsége miatt 25%-kal kisebb nyomatékú, azonban 10-15%-kal nagyobb áramigénnyel bíró és ezért 120 000 mérföld alatt átlag 900 kWh-val nagyobb áramfelhasználással működő, nagy réztartalmú indukciós motor inverterével együtt 390 USD-ral alacsonyabb gyártási költséget eredményezett 2013-ban. A különbség a PSM motor mágnes árának emelkedésével jött létre, mivel 2011-ben egy REE tartalmú állandó mágneses motort 260 USD-os gyártási árral számoltak, ehhez képest 2013-ban már 590 USD-t ért el annak költsége (ami már meghaladja egy 50-60 kW teljesítményű 4 hengeres benzinmotor gyártási költségét). Az azóta eltelt időben a nagy energiasűrűségű mágnes ára még tovább emelkedett. A villanymotorokhoz szükséges REE-k iránti 2030-ra mintegy 50 százalékos keresletbővülésével a kritikus Ne/Pd, Dy alapanyagok ára akár 2-3-szorosára is emelkedhet. Ez előrevetíti a nagy teljesítményű PSM motorok jövőbeli további áremelkedésének valószínűségét.

A 2. fejezetben bemutatott akkumulátorok iránt bekövetkező óriási keresletemelkedés a nyersanyag árak potenciális emelkedése nyomán, kiegészülve a nagyszámú tőkeintenzív beruházás rövid megtérülési elvárásával előidézheti a technológiai fejlődés okozta fajlagos

árcsökkenés akár hirtelen megállását és hosszabb távon 200 USD/kWh körüli átlagár beállását. Ennek hatására azonban a (28 kWh-s átlag) BEV járművek 6000 USD gyártási költséghátránya fennmaradhat. Bármelyik bemutatott alapanyag kereslet-kínálat egyensúlyi görbéjének inflexió pontján túl az alapanyaghiány, vagy akár az akkumulátor gyártókapacitás hiány az áramtároló fajlagos gyártási árának emelkedését is eredményezheti.

A konvencionális Otto-motoros oldalon azonban az ABN Amro elemzőjének vizsgálata [20] kimutatja, hogy belső égésű motorral szerelt járművek gyártási darabszámának csökkenése, valamint a visszanyert nyersanyag újra hasznosításából eredő növekvő kínálat miatt a palládium és platina iránti kereslet az előttünk álló időszakban akár drasztikus csökkenésnek és ennek nyomán áresésnek indulhat. A szélsőséges elterjedési forgatókönyveket is mutató 2040-ig szóló előre tekintés a platina esetében akár 35% globális felhasználás csökkenést eredményezhet, ami a 2017-es riport készítésekor 32 800 USD/kg-os ár 10 600 USD/kg-ra mérséklődését vonhatja maga után. A palládium iránti kereslet csökkenése pedig elérheti a 70 százalékot is, amely a 34 900 USD/kg árat egészen 3500 USD/kg-os szintre küldheti. A vizsgált forgatókönyvek egyike intenzív FCEV elterjedést vizsgál, amely esetében a platina iránti globális kereslet emelkedésére számítanak, míg a palládium esetében csökkenésre. E két hatás költség téren kiolthatja egymást. Minden más esetben a katalizátorok nyersanyag költsége a belső égésű motorral szerelt járművek meglévő versenyelőnyét erősítheti.

6. ÖSSZEFOGLALÁS, KÖVETKEZTETÉSEK

A fentiekből megállapítható, hogy amennyiben a járműtechnológiai szerkezetváltás eltűlt arányúvá válik, annak fenntarthatóságát valamelyik alapelem nagy valószínűséggel fékezni fogja, rosszabb esetben visszafordítani. Az ipar lehetőségei, a természeti kincsek által biztosított keretek az energetikai rendszereink teljes körű, erőltetett átalakítását kétséges, hogy fenntartható módon biztosítani lennének képesek.

Míg egy kedvező intenzitású alternatív hajtásra való áttérés ráfordítás vs. előny viszonya hosszú távon biztosíthat pozitív externália mérleget, lásd [21] az LNG alapú közlekedés elterjesztésének Magyarországra vonatkozó mérlegét, amely a következő 20 évre vetítve akár évi 50 milliárd forintot (mintegy 200 millió dollár) eredményezhet. Egy-egy eltúlzott mértékű átalakulási folyamat felára azonban nagyon megnőhet, ezáltal a globális dekarbonizációs folyamat fajlagos költsége emelkedik. Ennek az évszázad emberiségének a klímaváltozás visszafogása és elkerülése érdekében erőforrásait az üvegházhatású gázok koncentrációjának csökkentésére kell fordítania. Azon technológiákat, eszközöket szükséges előtérbe helyezni, amelyek a rendelkezésre álló erőforrásainkból a legnagyobb hatást tudják biztosítani, ráadásul területileg is ott, ahol annak hatása igazolható. Nem engedhető meg, hogy a rendelkezésre álló alternatívák sokféleségéből ne kiegyensúlyozottan, az előnyök teljes körű mérlegelésén alapuló fejlődés valósuljon meg. A Big Data modernkori világában azzal a régi mérnöki szemlélettel, amely kiindulásként lehatárolta valahol a problémát/feladatot és csak azon belül számolt, ma már nem lehet hatékony és megbízható eredményre, stratégiára jutni. Egyre nagyobb szükség van az olyan, eddigieknél mélyrehatóbb tudományos vizsgálatra, amely képes a CO₂ kibocsátás elkerülési folyamatokat minden aspektusában (beleértve az ipari termelés fenntarthatóságát is) vizsgálni és hatásait minél inkább helyi szinten összehasonlítani.

A tisztán akkumulátoros és a hidrogénnel táplált tüzelőanyag cellás hajtásrendszerek mellett mára számos egyéb környezetbarát opciót is találunk a közlekedés által okozott terhelés csökkentésére. Ezek között az energia felhasználásának minél magasabb hatásfoka érdekében a hibridizáció egyértelműen előnyös, szinte minden felhasználási területen. A károsanyag-kibocsátás és a CO₂ kibocsátás csökkentésére azonban még óriási tartalékokat rejt a belső égésű motor is, például az energiahordozó váltásának köszönhetően. Itt említhető meg a metán, legyen fosszilis földgáz, hulladék vagy más biomassa eredettel, vagy akár szintetikus úton karbonmentes energiaforrásból előállítva. Ehhez a ma és a közeli jövő még fejlettebb CNG

palackokkal szerelt könnyűjárművei vagy lokális feladatot ellátó nehézgépjárművei, valamint az LNG tartállyal szerelt nehézgépjárművek a legtöbb esetben a hagyományos hajtásláncnál kedvezőbb összköltséget eredményeznek. De más szintetikus üzemanyagokban is jelentős potenciál van a környezet védelme érdekében.

A rendelkezésre álló természeti erőforrások kínálati oldalának mélyreható ismerete, valamint a kereslet költséggörbéjének figyelembevétele szükséges az alternatív technológia rendszerek elterjedésének vizsgálataihoz, az összehasonlíthatósághoz és a kiegyensúlyozott szabályozói rendszerek megalkotásához. Ezek mérlegelése során azonban a teljes életciklus pályát figyelembe kell venni, hozzá kell tenni a lokális energiaellátás lehetőségének vizsgálatát is és mindezek értékelése során figyelembe kell venni azon költségmutatókat, melyek az adott térségre a teljes ráfordítást mutatják meg, szembe állítva az elérhető környezetterhelés csökkenés helyi szintre vonatkoztatott monetarizálásával. Az alternatívák elterjesztésének költséggörbéiben szinte törvényszerűen megtalálható egy-egy inflexió pont, amelynek megállapításával és figyelembe vételével a görbék az optimális stratégiák és arányok meghatározását teszik lehetővé. Csak ilyen módon biztosítható, hogy a gazdasági és természeti erőforrások felhasználása hatékony globális klímavédelmet eredményezzen.

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

GWh: giga watt óra (109 Wh)

2DS: 2°C degree scenario = „2°C-nál nem növekszik

jobban a globális átlaghőmérséklet” forgatókönyv

B2DS: Beyond 2°C degree scenario = 2°C-on túli forgatókönyv

RTS: Reference technology scenario = referencia technológia forgatókönyv

IEA: International Energy Agency = Nemzetközi Energia Ügynökség

LCO: Akkumulátor lítium-kobalt-oxid (LiCoO₂) ötvözetű katóddal, grafit anóddal

NMC = Akkumulátor lítium-nikkel-mangán-kobalt-oxid (LiNiMnCoO₂) ötvözetű katóddal, grafit anóddal

NCA: Akkumulátor lítium-nikkel-kobalt-alumínium-oxid (LiNiCoAlO₂) ötvözetű katóddal, grafit anóddal

LFP: Akkumulátor lítium-vas-foszfát (LiFePO₄) ötvözetű katóddal, grafit anóddal

LMO: Akkumulátor lítium-mangán-oxide (LiMn_2O_4)

ötvezetű katóddal, grafit anóddal

NMH, vagy NiMH: Nikkel-metal hidrid, grafit anóddal

FC: Fuel Cell = Tüzelőanyag cella

DOE: Department of Energy = Az Egyesült Államok

Energiaügyért felelős Minisztériuma

EV: Electric Vehicle = villamos hajtású jármű

BEV: Battery Electric Vehicle = akkumulátoros villamos hajtású jármű

FCEV: Fuel Cell Electric Vehicle = tüzelőanyag cellás akkumulátoros jármű

PSM: Permanent Synchronous Motor = állandó gerjesztésű szinkron motor

REE: Rare Earth Element = Ritka földfém

NdFeB: neodymium-ferrum-boron = neodímium-vas-bór

SmCo: samarium-cobalt = samarium-kóbalt

PrNd: praseodímium-neodymium

Nd: neodymium

Pr: Praseodímium

Dy: Dysprosium

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Schulz, K.J., DeYoung, J.H., Jr., Seal, R.R., II, and Bradley, D.C., eds., 2017, Critical mineral resources of the United States - Economic and environmental geology and prospects for future supply: U.S. Geological Survey Professional Paper 1802, 797 p., DOI: <http://doi.org/cqmb>
- REPORT ON CRITICAL RAW MATERIALS FOR THE EU, *Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials, May 2014*
- Claire Curry, Bloomberg New Energy Finance, 2017, Lithium-ion Battery Costs and Market
- Mia Romare, Lisbeth Dahllöf, IVL Swedish Environmental Research Institute, 2017, Report C 243, The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries – A Study with Focus on Current Technology and Batteries for Light-duty Vehicles, ISBN 978-91-88319-60-9
- Han Hao, Zhexuan Mu, Shuhua Jiang, Zongwei Liu and Fuquan Zhao, 2017, GHG Emissions from the Production of Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles in China, Sustainability 2017, 9, 504; DOI: <http://doi.org/gbhs65>
- Chaofeng Liu, Zachary G. Neale and Guozhong Cao, Understanding electrochemical potentials of cathode materials in rechargeable batteries, Materials Today, Volume 19(2) DOI: <http://doi.org/f8ch73>
- Seong Jin An, Jianlin Li, Claus Daniel, Debasish Mohanty, Shrikant Nagpure, David L. Wood III, The state of understanding of the lithium-ion-battery graphite solid electrolyte interphase (SEI) and its relationship to formation cycling, Carbon 105, DOI: <http://doi.org/cqmc>
- J.B. Dunn, L. Gaines, M. Barnes, J. Sullivan, and M. Wang, Center for Transportation Research, Argonne National Laboratory, Material and Energy Flows in the Materials Production, Assembly, and End-of-Life Stages of the Automotive Lithium-Ion Battery Life Cycle, 2014, ANL/ESD/12-3 Rev.
- Ibrahim Dincer, Marc A. Rosen and Calin Zamfirescu, Economic and Environmental Comparison of Conventional and Alternative Vehicle DOI: <http://doi.org/b7g4qw>
- Global EV Outlook 2017, International Energy Agency, 2017
- Energy Storage 2015 Annual Report, U.S. Department of Energy, Vehicle Technologies Office, <https://energy.gov/eere/vehicles/downloads/2015-annual-merit-review-report>
- Menahem Anderman, The xEV Industry Insider Report, 2017, <https://www.totalbatteryconsulting.com/industry-reports/xEV-report/Extract-from-the-xEV-Industry-Report.pdf>
- Cost and Price Metrics for automotive Lithium-Ion Batteries, U.S. Department of Energy, Vehicle Technologies Office, 2017, <https://energy.gov/eere/vehicles/downloads/2015-annual-merit-review-report>
- Deloitte Sustainability, British Geological Survey, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Netherlands Organisation for Applied Scientific Research, Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Final Report, European Commission 2017, ISBN 978-92-79-47937-3 DOI: <http://doi.org/cqmg>
- Claudiu C. Pavel EC Joint Research Centre (JRC), Alain Marmier JRC, Patricia Alves Dias JRC, Darina Blagoeva JRC, Evangelos Tzimas JRC, Doris Schüller Öko-Institu e.V. (ÖI), Tobias Schleicher (ÖI), Wolfgang Jenseit (ÖI), Stefanie Degreif (ÖI), Matthias Buchert (ÖI), Substitution of critical raw materials in low-

- carbon technologies: lighting, wind turbines and electric vehicles, European Commission Joint Research Centre, 2016, ISBN 978-92-79-62960-0 ISSN 1821-9424 DOI: <http://doi.org/cqmd>
16. Wuppertal Institut, Abschlussbericht Kritische mineralische Ressourcen und Stoffströme bei der Transformation des deutschen Energieversorgungssystems, 2014, https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/5419/file/5419_KRESSE.pdf
 17. Josh Ley, Jon Lutz, Alan Gilbert, UQM Technologies, Unique Lanthanide-Free Motor Construction, 2014
 18. Malcolm Burwell, James Goss, Mircea Popescu, Performance/cost comparison of induction-motor & permanent-magnet-motor in a hybrid electric car, Tokyo 2013, <http://www.coppermotor.com/wp-content/uploads/2013/08/Techno-Frontier-2013-MBurwell-ICA-EV-Traction-Motor-Comparison-v1.8-Eng1.pdf>
 19. Brian D. James, Jennie M. Huya-Kouadio, Cassidy Houchins, Strategic Analysis Inc., 2017 DOE Hydrogen and Fuel Cells Program Overview, Fuel Cell System Analysis, 2017
 20. Georgette Boele, ABN Amro, Electric Vehicles to result in large platinum and palladium price declines, 2017, <https://insights.abnamro.nl/en/2017/11/precious-metals-watch-electric-vehicles-to-result-in-large-platinum-and-palladium-price-declines/>
 21. Henrik Domanovszky, Tamás Zarándy, Szabolcs Vágvolgyi, Zalán Zemplényi, Ákos Varga, Lajos Bálint Tóth, Pannon LNG Project 1.10. fejezet Bio- és földgázalapú üzemanyag elterjedésének szabályozói és ösztönzői környezet vizsgálata, 2016, http://www.panlng.eu/wp-content/uploads/2016/10/1_10_PAN-LNG_kornyezet.pdf



Can be secured the sustainable development by the energy revolution?

An interesting new art of science, the geoenvironmental gives us information about the availability of those emerging resources, which are key components of the latest industrial technologies. Many of them so far playing indispensable role in the transition of our energy systems, especially in the electrification of the road transport. The already highlighted goals based on the sustainability and environmental aspects, requesting several mineral sources in a short term in a quantity, which is double as high as the current mining. For some of those not only the background of the industry is missing, but the earth's crust has no resources for long too, or it is found in territory from where the supply risk is too high. These are potential risks for the future of an industry which alone in the EU feed 12 million families, and which are developing it's future ahead of 10-15 years.



Ist die Energiewandlung Bewilligen Unsere Nachhaltige Evolution?

Eine interessante neue Wissenschaft, das Geo-umwelt liefern für uns das Information aus Verfügbarkeit von die schwellen Ressourcen, welchen die schlüsseln Komponenten bei den neuesten industriellen Technologien. Vielen von dem haben unersetzlich Rolle ins die Energiewandlung, insbesondere bei der Elektrifikation von Straßen Verkehr. Die bereits hervorgehobenen Ziele basieren auf den Nachhaltigkeits- und Umweltaspekten, kurzfristig anfordern mehrere Mineralquellen in einer Menge, die welchen doppelt so groß sind als aktueller Bergbau. Bei einigen nicht nur den industriellen Hintergrund fehlt, sondern die Erdkruste hat auch lange keine Ressourcen, oder die kommen von solchen Gebieten, wo die Versorgungsrisiko ist zu hoch. Dies sind potenzielle Risiken für die Zukunft einer Industrie, die alleine in der EU 12 Millionen Familien ernährt und die ihre Zukunft vor 10 bis 15 Jahren entwickelt.